

**Coriolis mass flow sensor with at least one measuring tube****Publication number:** EP0754934**Publication date:** 1997-01-22**Inventor:** DRAHM WOLFGANG DR (CH); RIEDER ALFRED DIPLO-ING (DE)**Applicant:** FLOWTEC AG (CH)**Classification:**- **international:** G01F1/84; G01F1/76; (IPC1-7): G01F1/84- **European:** G01F1/84**Application number:** EP19950810474 19950721**Priority number(s):** EP19950810474 19950721**Also published as:**

US5736653 (A1)

JP9033309 (A)

CN1153295 (A)

EP0754934 (B1)

ES2149943T (T3)

[more >>](#)**Cited documents:**

WO8803261

WO8901134

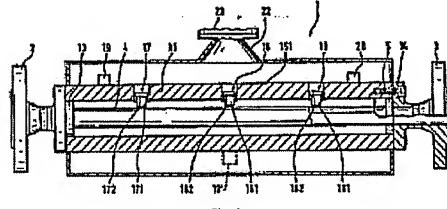
WO9303336

EP0375300

EP0300301

[Report a data error here](#)**Abstract of EP0754934**

The device can be inserted into a conduit through which a fluid to be measured flows. The conduit has a predetermined diameter and the measuring device is axially aligned with the conduit e.g. by flanges. At least one measuring tube, through which the fluid to be measured flows, runs between the flanges (2,3) and is fixed to them. A carrier tube (15) is arranged with its ends fixed to the flanges. The measuring tube (4) is excited to resonance oscillation. The device has a first and a second speed sensor (17,18) for the oscillations of the measuring tube. The sensors are staggered along the tube. The device also has a first and a second acceleration sensor (19,20). These are staggered along an intersection line and fixed to the carrier tube (15). The acceleration sensors are fixed in planes in which, during operation of the measuring device, coriolis forces appear. The device also has an arrangement which forms a disturbance-free through-flow signal from the signals from the speed sensors and the signals from the acceleration sensors.





(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 754 934 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
22.01.1997 Patentblatt 1997/04

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01F 1/84

(21) Anmeldenummer: 95810474.7

(22) Anmeldetag: 21.07.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
CH DE DK ES FR GB IT LI NL

• Rieder, Alfred, Dipl.-Ing.  
D-84030 Ergolding (DE)

(71) Anmelder: Endress + Hauser Flowtec AG  
CH-4153 Reinach BL 1 (CH)

(74) Vertreter: Morstadt, Volker, Dipl.-Ing.  
c/o Endress + Hauser Flowtec AG  
Kägenstrasse 7  
Postfach 435  
4153 Reinach (BL) 1 (CH)

(72) Erfinder:  
• Drahm, Wolfgang, Dr.  
CH-4222 Zwingen (BL) (CH)

### (54) Coriolis-Massedurchflussmesser mit mindestens einem Messrohr

(57) Zur weiteren Verbesserung und Optimierung der Unempfindlichkeit gegenüber aus der Rohrleitung stammenden Vibratoren umfaßt dieser Coriolis-Massedurchflussmesser, der in den Verlauf einer von einem zu messenden Fluid durchströmten Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers axial mit ihr fluchtend, z.B. über Flansche, einsetzbar ist: Mindestens ein an den Flanschen (2, 3) fixiertes Meßrohr (4); ein Trägerrohr (15), dessen Enden am jeweiligen Flansch fixiert sind; Mittel, die das Meßrohr (4) zu Resonanz-Schwingungen anregen;

Geschwindigkeitssensoren (17, 18) für die Schwingungen des Meßrohrs (4), welche Sensoren entlang des Meßrohrs versetzt angeordnet sind; Beschleunigungssensoren (19, 20), die am Trägerrohr (15) versetzt entlang einer Schnittlinie mit derjenigen Ebene fixiert sind, in der Corioliskräfte auftreten; und Mittel, die aus Signalen ( $x_{17}, x_{18}$ ) der Sensoren (17, 18) und aus Signalen ( $x_{19}, x_{20}$ ) der Sensoren (19, 20) ein von Störungen weitgehend befreites Massedurchfluß-Signal ( $q$ ) bilden.

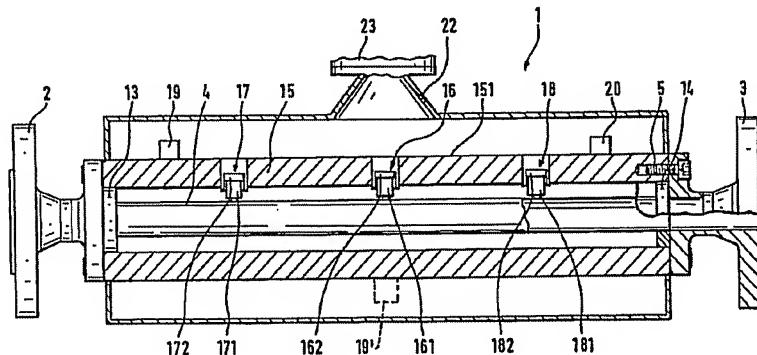


Fig. 1

EP 0 754 934 A1

**Beschreibung**

Die Erfindung betrifft Massedurchflußmesser nach dem Coriolis-Prinzip mit mindestens einem Meßrohr für ein zu messendes Fluid.

5 In der eigenen WO-A 95/03528 ist ein Massedurchflußaufnehmer beschrieben, der in den Verlauf einer von einem zu messenden Fluid durchströmten Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers axial mit ihr fluchtend über Flansche einsetzbar ist,

- mit einem geraden, vom Fluid durchflossenen, zwischen den Flanschen verlaufenden Meßrohr,
- 10 - mit einem zum Meßrohr parallelen, geraden, nichtdurchflossenen Blindrohr,
- mit einer einlaßseitigen und einer auslaßseitigen Knotenplatte,

-- deren eine den einlaßseitigen Endteil des Meßrohrs am entsprechenden Endteil des Blindrohrs und  
-- deren andere den auslaßseitigen Endteil des Meßrohrs am entsprechenden Endteil des Blindrohrs jeweils  
15 nebeneinander fixiert,

- mit einem Trägerrohr, dessen jeweiliges Ende am jeweiligen Flansch fixiert ist,
- mit Mitteln, die nur am Blindrohr zur Erregung von Resonanz-Schwingungen des Meßrohrs angreifen, und
- mit einem am Trägerrohr angebrachten Beschleunigungssensor zur Abgabe eines Signals,

20 -- durch das Schwingungen des Trägerrohrs minimiert werden.

In der eigenen US-A 49 49 583 ist ferner ein Massedurchflußaufnehmer mit einem einzigen geraden Meßrohr beschrieben, das zu peristaltischen Schwingungen seiner Querschnittsfläche angeregt wird.

25 In der Praxis hat sich gezeigt, daß Massedurchflußmesser mit dem eingangs zuerst erwähnten Massedurchflußaufnehmer hinsichtlich ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen noch nicht optimal sind. Diese Vibrationen stammen z.B. aus der Rohrleitung, in die Massedurchflußaufnehmer eingesetzt sind, und gehen z.B. auf vibrierende Pumpen zurück, die den Massefluß in der Rohrleitung bewirken..

Zur weiteren Verbesserung und Optimierung dieser Unempfindlichkeit gegenüber aus der Rohrleitung stammenden Vibrationen besteht die Erfindung daher in einem Massedurchflußmesser nach dem Coriolis-Prinzip,

- der in den Verlauf einer von einem zu messenden Fluid durchströmten Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers axial mit ihr fluchtend, z.B. über Flansche, einsetzbar ist,
- mit mindestens einem vom Fluid durchflossenen, zwischen den Flanschen verlaufenden und daran fixierten Meßrohr,
- 35 - mit einem Trägerrohr, dessen jeweiliges Ende am jeweiligen Flansch fixiert ist,
- mit Mitteln, die das Meßrohr bzw. die Meßrohre zu Resonanz-Schwingungen anregen,
- mit einem ersten und mit einem zweiten Geschwindigkeitssensor für die Schwingungen des Meßrohrs bzw. der Meßrohre, welche Geschwindigkeitssensoren entlang des Meßrohrs bzw. der Meßrohre versetzt angeordnet sind,
- 40 - mit einem ersten und mit einem zweiten Beschleunigungssensor, die am Trägerrohr versetzt entlang einer Schnittlinie mit derjenigen Ebene fixiert sind, in der während des Betriebs des Massedurchflußmessers Corioliskräfte auftreten, und
- mit Mitteln, die aus Signalen der Geschwindigkeitssensoren und aus Signalen der Beschleunigungssensoren ein von Störungen weitestgehend befreites Massedurchfluß-Signal bilden.

45 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist ein einziges gerades Meßrohr vorgesehen. Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist ein einziges Meßrohr vorgesehen, das in einer Ebene verlaufend gebogen ist.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung umfassen die Mittel, die aus den Signalen der Geschwindigkeitssensoren und aus den Signalen der Beschleunigungssensoren ein Signal für den Massedurchfluß bilden, folgende Teilschaltungen:

- einen ersten Subtrahierer mit einem Subtrahend-Eingang, an den der erste Beschleunigungssensor, und mit einem Minuend-Eingang, an den der zweite Beschleunigungssensor angeschlossen ist,
- 55 - einen zweiten Subtrahierer mit einem Subtrahend-Eingang, an den der erste Geschwindigkeitssensor, und mit einem Minuend-Eingang, an den der zweite Geschwindigkeitssensor angeschlossen ist,
- einen ersten Summierer mit einem ersten Eingang, an den der erste Geschwindigkeitssensor, und mit einem zweiten Eingang, an den der zweite Geschwindigkeitssensor angeschlossen ist,
- einen ersten Multiplizierer mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Subtrahierers, und mit einem

zweiten Eingang, an dem ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung einwirkenden Schwingungen ermittelter erster Kalibrierfaktor liegt,

- einen zweiten Multiplizierer mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Summierers, und mit einem zweiten Eingang, an dem ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung nicht einwirkenden Schwingungen ermittelter zweiter Kalibrierfaktor liegt,
- einen Integrator, dessen Eingang am Ausgang des zweiten Subtrahierers liegt,
- einen zweiten Summierer mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Multiplizierers, und mit einem zweiten Eingang, an dem der Ausgang des Integrators liegt,
- einen ersten Inverter, der am Ausgang des zweiten Summierers angeschlossen ist,
- einen ersten Umschalter mit einem ersten Eingang, der am Ausgang des zweiten Summierers, und mit einem zweiten Eingang, der am Ausgang des ersten Inverters liegt,
- einen zweiten Inverter, der am Ausgang des zweiten Multiplizierers angeschlossen ist,
- einen zweiten Umschalter mit einem ersten Eingang, der am Ausgang des zweiten Multiplizierers, und mit einem zweiten Eingang, der am Ausgang des zweiten Inverters liegt,
- einen Schwellwertschalter mit einem Signal-Eingang, der am Ausgang des zweiten Multiplizierers, mit einem Schwellwert-Eingang, der am Schaltungsnnullpunkt, und mit einem Ausgang, der an einem jeweiligen Steuereingang des ersten bzw. des zweiten Umschalters liegt,
- einen dem Ausgang des ersten Umschalters nachgeschalteten ersten Tiefpaß,
- einen dem Ausgang des zweiten Umschalters nachgeschalteten zweiten Tiefpaß,

-- welche Tiefpässe eine obere Grenzfrequenz haben, die um etwa eine Größenordnung kleiner als die höchste in deren Eingangssignalen auftretende Frequenz ist, und

- einen Dividierer mit einem Dividend-Eingang, an dem der Ausgang des ersten Tiefpasses, und mit einem Divisor-Eingang, an dem der Ausgang des zweiten Tiefpasses liegt, sowie mit einem Ausgang, der das Massedurchfluß-Signal abgibt.

Bei der eben erwähnten Ausgestaltung können in Abwandlung der Erfindung der erste Subtrahierer und die Beschleunigungssensoren durch einen einzigen, Rotationsschwingungen aufnehmenden Beschleunigungssensor ersetzt sein.

Die Erfindung wird nun anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert, in der von einem Massedurchflußmesser als bevorzugte Ausführungsbeispiele ein mechanischer Teil und eine Teilschaltung zur Erzeugung eines Massedurchfluß-Signals dargestellt sind.

Fig. 1 zeigt eine vertikale, teilweise geschnittene Längsansicht des mechanischen Teils eines Massedurchflußmessers mit einem einzigen geraden Meßrohr,

Fig. 2 zeigt eine Teilschaltung zur Erzeugung eines Massedurchfluß-Signals, und

Fig. 3 zeigt teilweise eine Abwandlung der Teilschaltung nach Fig. 2.

Der in Fig. 1 in vertikaler, teilweise geschnittener Längsansicht gezeigte mechanische Teil eines Massedurchflußmessers, also dessen Massedurchflußaufnehmer 1, ist in den Verlauf einer von einem zu messenden Fluid durchströmten, aus Gründen der Übersichtlichkeit jedoch nicht dargestellten Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers 45 über Flansche 2, 3 einsetzbar.

Der Massedurchflußaufnehmer 1 des Ausführungsbeispiels hat ein einziges gerades Meßrohr 4, das jeweils endseits am jeweiligen Flansch 2, 3, z.B. über Endplatten 13, 14, fixiert ist, in die das jeweilige Ende des Meßrohrs 4 dicht, insb. vakuum-dicht, eingepaßt, z.B. eingeschweißt, eingelötet oder eingewalzt ist, vgl. zu letzterem die eigene ältere, noch nicht veröffentlichte EP-Anmeldung 95 81 0199.0.

Anstatt eines einzigen geraden Meßrohrs kann in Ausgestaltung der Erfindung auch ein einziges, in einer Ebene verlaufendes, gebogenes Meßrohr, z.B. ein kreissektor-förmiges Meßrohr, verwendet werden. Es sind aber auch mehrere, insb. zwei, Meßrohre möglich, oder es kann bei der Erfindung auch ein Massedurchflußaufnehmer mit einem Meßrohr und einem Blindrohr entsprechend der eingangs erwähnten WO-A 95/03528 verwendet werden.

Die Flansche 2, 3 und die Endplatten 13, 14 sind an oder in einem Trägerrohr 15 befestigt. In Fig. 1 sind die Flansche 2, 3 durch Schrauben, von denen eine Schraube 5 rechts oben im Schnitt vollständig zu sehen ist, am Trägerrohr 15 fixiert. Die Endplatten 13, 14 können mit der Innenwand des Trägerrohrs 15 dicht, insb. vakuum-dicht, verschweißt oder verlötet sein. Es ist jedoch auch möglich, Trägerrohr 15 und Endplatten 13, 14 einstückig auszubilden.

Als Mittel, die das Meßrohr 4 zu Resonanz-Schwingungen, bevorzugt zu Resonanz-Biegeschwingungen, anregen, dient einerseits eine in der Mitte zwischen den Flanschen 2, 3 und den Endplatten 13, 14 sowie im Zwischenraum zwi-

schen dem Trägerrohr 15 und dem Meßrohr 4 angeordnete, z.B. elektrodynamische, Treiberanordnung 16, die einen am Meßrohr 4 befestigten Dauermagneten 161 und eine am Trägerrohr 15 befestigte Spule 162 umfaßt, in die der Dauermagnet 161 eintaucht und in der dieser hin- und herbewegbar ist. Zu den Mitteln, die das Meßrohr zu Resonanzschwingungen anregen, gehört andererseits auch eine nicht dargestellte Treiberschaltung vorbeschriebener Art, vgl. z.B. die eigene US-A 48 01 897.

5 Im Zwischenraum zwischen dem Trägerrohr 15 und dem Meßrohr 4 sind ferner ein erster und ein zweiter Geschwindigkeitssensor 17, 18 für die Schwingungen des Meßrohrs 4 entlang von ihm versetzt, bevorzugt im gleichen Abstand von der Treiberanordnung 16, also von der Mitte des Meßrohrs 4, angeordnet.

10 Bei unterschiedlichem Abstand der Geschwindigkeitssensoren 17, 18 von der Mitte des Meßrohrs 4 oder bei von- einander verschiedener Empfindlichkeit derselben muß die dadurch bedingte Unsymmetrie über den Verstärkungsfaktor eines nachgeschalteten Verstärkers ausgeglichen werden.

15 Die Geschwindigkeitssensoren 17, 18 können z.B. optische Geschwindigkeitssensoren von der in der oben erwähnten US-A 48 01 897 beschriebenen Art sein. Bevorzugt sind die Geschwindigkeitssensoren 17, 18 jedoch elektrodynamische Geschwindigkeitssensoren, die jeweils einen am Meßrohr 4 befestigten Dauermagneten 171 bzw. 181 und jeweils eine am Trägerrohr 15 befestigte Spule 172 bzw. 182 umfassen, in die der Dauermagnet 171 bzw. 181 eintaucht und in der dieser hin- und herbewegbar ist. Am jeweiligen Geschwindigkeitssensor 17 bzw. 18 entsteht ein jeweiliges Signal  $x_{17}, x_{18}$ .

20 Am Trägerrohr 15 sind ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor 19, 20 versetzt entlang einer Schnittlinie mit derjenigen Ebene fixiert, in der während des Betriebs des Massedurchflußmessers Corioliskräfte auftreten. Am jeweiligen Beschleunigungssensor 19 bzw. 20 entsteht ein jeweiliges Signal  $x_{19}, x_{20}$ .

25 Die erwähnte Ebene ist in Fig. 1 die Zeichenebene, da die Treiberanordnung 16 das Meßrohr 4 zu Biegeschwingungen in der Zeichenebene anregt und daher auch in dieser Ebene Corioliskräfte auftreten. Somit ist die erwähnte Schnittlinie die in Fig. 1 zu sehende Begrenzungslinie 151 des Trägerrohrs 15. Bevorzugt haben die beiden Beschleunigungssensoren 19, 20 den gleichen Abstand von der Mitte des Trägerrohrs 15, wobei dieser Abstand mit dem oben erwähnten Abstand der Geschwindigkeitssensoren 17, 18 nicht identisch zu sein braucht.

30 Zur Erzielung eines möglichst großen Signal/Rausch-Verhältnisses ist der Abstand im übrigen bevorzugt so groß wie möglich zu wählen. Bei voneinander verschiedenen Abständen gilt das oben bezüglich der Geschwindigkeitssensoren Gesagte entsprechend.

35 Es kann zweckmäßig sein, die erwähnten Signale  $x_{17} \dots x_{20}$  möglichst nahe bei den Sensoren dadurch von allfälligen Störsignalen zu befreien, daß sie schmalbandig gefiltert werden, wobei die Mittenfrequenz dieser Filterung die Schwingfrequenz des Meßrohrs 4 ist. Die Mittenfrequenz der hierzu vorgesehenen Bandfilter muß daher jeweils einstellbar sein.

40 In Fig. 1 ist schließlich noch ein am Trägerrohr 15 fixiertes Gehäuse 21 gezeigt, das u.a. dem Schutz von Leitungen dient, die an die Treiberanordnung 16, die Geschwindigkeitssensoren 17, 18 und an die Beschleunigungssensoren 19, 20 angeschlossen, jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind.

45 Das Gehäuse 21 ist mit einem hals-artigen Übergangsstück 22 versehen, an dem ein nur teilweise gezeichnetes Elektronikgehäuse 23 zur Aufnahme der gesamten Antriebs- und Auswerte-Elektronik des Massedurchflußmessers fixiert ist.

50 Für den Fall, daß das Übergangsstück 22 und das Elektronikgehäuse 23 das Schwingungsverhalten des Trägerrohrs 15 ungünstig beeinflussen sollte, können diese auch getrennt vom Massedurchflußaufnehmer 1 angeordnet werden. Dann besteht lediglich eine Leitungsverbindung zwischen der Elektronik und dem Massedurchflußaufnehmer 1.

55 In Fig. 2 sind Mittel gezeigt, die aus den Signalen  $x_{17}, x_{18}$  der Geschwindigkeitssensoren 17, 18 und aus den Signalen  $x_{19}, x_{20}$  der Beschleunigungssensoren 19, 20 ein von Störungen weitestgehend befreites Massedurchfluß-Signal bilden. Diese Mittel umfassen die in Fig. 2 enthaltenen Teilschaltungen.

Der erste Beschleunigungssensor 19 ist an einem Subtrahend-Eingang "-" eines ersten Subtrahierers 31 und der zweite Beschleunigungssensor 20, an einem Minuend-Eingang "+" dieses Subtrahierers 31 angeschlossen. Ferner ist der erste Geschwindigkeitssensor 17 an einem Subtrahend-Eingang "-" eines zweiten Subtrahierers 32 und der zweite Geschwindigkeitssensor 18 an einem Minuend-Eingang "+" dieses Subtrahierers 32 angeschlossen. Auch ist der erste Geschwindigkeitssensor 17 mit einem ersten Eingang "+" eines ersten Summierers 33 und der zweite Geschwindigkeitssensor 18 mit einem zweiten Eingang "+" dieses Summierers verbunden.

Der Ausgang des ersten Subtrahierers 31 liegt an einem ersten Eingang eines ersten Multiplizierers 35, dessen zweitem Eingang ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung einwirkenden Schwingungen ermittelter erster Kalibrierfaktor  $K_1$  zugeführt ist. Ferner liegt der Ausgang des ersten Summierers 33 an einem ersten Eingang eines zweiten Multiplizierers 36, an dessen zweitem Eingang ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung nicht einwirkenden Schwingungen ermittelter zweiter Kalibrierfaktor  $K_2$  liegt.

Die beiden Kalibrierfaktoren  $K_1, K_2$  werden wie üblich nach Fertigstellung des Massedurchflußmessers durch Kalibrieren, also durch Vergleich eines bekannten Massedurchflusses mit vom Massedurchflußmesser für diesen bekannten Massedurchfluß gemessenen Durchflußmeßwerten ermittelt und anschließend in einer im Massedurchflußmesser vorhandenen Speicher-Anordnung, z.B. einem EEPROM (= electrically erasable and programmable read-only

memory) oder in einem ähnlichen Halbleiterspeicher, abgelegt.

Ferner liegt ein Eingang eines Integrators 37 am Ausgang des zweiten Subtrahierers 32. Der Ausgang des ersten Multiplizierers 35 ist mit einem ersten Eingang "+" eines zweiten Summierers 34 verbunden, an dessen zweitem Eingang "+" der Ausgang des Integrators 37 liegt.

5 Der Ausgang des zweiten Summierers 34 liegt am Eingang eines ersten Inverters 38, der bei am Ausgang des Summierers 34 auftretenden Analogsignalen z.B. durch eine mit -1 multiplizierende Stufe oder bei am Ausgang des Summierers 34 auftretenden Digitalsignalen z.B. durch einen Digital-Inverter realisiert sein kann.

Der jeweilige Ausgang von zweitem Summierer 34 und erstem Inverter 38 ist mit einem ersten bzw. mit einem zweiten Eingang eines ersten Umschalters 39 verbunden.

10 Der Ausgang des zweiten Multiplizierers 36 liegt am Eingang eines zweiten Inverters 40, der bei am Ausgang des zweiten Multiplizierers 36 auftretenden Analogsignalen z.B. wiederum durch eine mit -1 multiplizierende Stufe oder bei am Ausgang des zweiten Multiplizierers 36 auftretenden Digitalsignalen z.B. wiederum durch einen Digital-Inverter realisiert sein kann.

15 An einem Signal-Eingang eines Schwellwertschalters 42 liegt der Ausgang des zweiten Multiplizierers 36, und an einem Schwellwert-Eingang der Schaltungsnnullpunkt. Das Ausgangssignal des Schwellwertschalters 42 steuert den jeweiligen Umschalter 39 bzw. 41.

Der erste Inverter 38, der erste Umschalter 39 und der Schwellwertschalter 40 bzw. der zweite Inverter 40, der zweite Umschalter 39 und der Schwellwertschalter 40 haben jeweils die Funktion eines ersten bzw. eines zweiten Synchrongleichrichters.

20 Anstatt des zweiten Synchrongleichrichters kann auch ein Spitzenwert-Gleichrichter vorgesehen sein, dessen Eingang am Ausgang des zweiten Multiplizierers 36 anzuschließen ist und der sowohl ein Halbwellen- als auch ein Vollwellen-Gleichrichter sein kann.

25 Dem Ausgang des Umschalters 39 bzw. 41 ist ein erster bzw. ein zweiter Tiefpaß 43, 44 nachgeschaltet. Beide Tiefpässe haben jeweils eine obere Grenzfrequenz, die um etwa eine Größenordnung kleiner als die höchste in deren Eingangssignalen, also im Ausgangssignal des jeweiligen Umschalters 39 bzw. 41, auftretende Frequenz ist.

Schließlich liegt der Ausgang des ersten Tiefpasses 43 an einem Dividend-Eingang eines Dividierers 45, an dessen Divisor-Eingang der Ausgang des zweiten Tiefpasses 44 angeschlossen ist. Der Ausgang des Dividierers 45 gibt ein Massedurchfluß-Signal  $q$  ab.

30 In Fig. 3 ist teilweise eine Abwandlung der Schaltung nach Fig. 2 gezeigt. Anstatt des in Fig. 3 fehlenden ersten Subtrahierers 31 von Fig. 2 und anstatt der beiden Beschleunigungssensoren 19, 20 nach Fig. 1 ist nur noch ein einziger, Rotationsschwingungen aufnehmender Beschleunigungssensor 19' vorgesehen, der bevorzugt in der Mitte des Trägerrohrs 15 angeordnet und in Fig. 1 gestrichelt gezeichnet ist. Er ist ferner mit dem ersten Eingang des ersten Multiplizierers 35 verbunden.

35 Die Schaltungen der Fig. 2 und 3 setzen voraus, daß es sich bei den darin enthaltenen Teilschaltungen um Schaltungen handelt, die die von den Beschleunigungssensoren und von den Geschwindigkeitssensoren erzeugten Analogsignale analog verarbeiten. Es liegt jedoch im Rahmen der Erfindung, anstatt solcher Analog-Schaltungen entsprechende Digital-Schaltungen einzusetzen, wie oben hinsichtlich des Inverters 38 bereits erläutert worden ist.

40 Dann sind aber entweder die Beschleunigungssensoren und die Geschwindigkeitssensoren durch solche zu ersetzen, die Digitalsignale abgeben, oder es sind den Ausgängen der Beschleunigungssensoren und der Geschwindigkeitssensoren Analog/Digital-Wandler nachzuschalten.

Die Schaltungen der Fig. 2 und 3 und ihre Funktionsweise gehen auf die im folgenden erläuterten Erkenntnisse der Erfinder zurück. Für den Betriebszustand des Massedurchflußmessers 1 können drei verschiedene Schwingungsmodi definiert werden, denen jeweils eine (im mathematischen Sinne) komplexe Schwingungsamplitude zugeordnet werden kann.

45 Diese komplexen Schwingungsamplituden sind jeweils mit einem großen Buchstaben, z.B. allgemein mit  $Y$ , bezeichnet. Davon durch die Schreibweise unterschieden ist die jeweils zugehörige Amplitude des reell gemessenen Signals, die mit dem entsprechenden kleinen Buchstaben, z.B. also mit  $y$ , bezeichnet ist. Für diesen allgemeinen Zusammenhang gilt somit:

$$50 \quad y = \operatorname{Re} \{Y \cdot \exp(j\Omega t)\} = |Y| \cdot \cos[\Omega t + \operatorname{arc}(Y)] \quad (1)$$

$$Y = |Y| \cdot \exp[j \cdot \operatorname{arc}(Y)] \quad (2)$$

In den Gleichungen (1), (2) ist

55  
 $j = \sqrt{-1}$ ,  
 $\Omega = 2\pi f$ ;  $f$  ist die Schwingfrequenz des Meßrohrs 4,  
 $t$  die Zeitvariable,  
 $\operatorname{Re}$  ein Operator, der den Realteil der komplexen Amplitude liefert,

|| ein Operator, der den Betrag der komplexen Amplitude liefert und  
 arc ein Operator, der die Phase der komplexen Amplitude liefert.

Um auf die oben erwähnten Schwingungsmodi des Massedurchflußmessers zurückzukommen, hat das Meßrohr 5 einen Antriebsmode mit der (komplexen) Auslenkungsamplitude  $A_A$  und einen Coriolismode mit der (komplexen) Auslenkungsamplitude  $A_C$ , während das Trägerrohr 15 einen Rotationsmode mit der (komplexen) Auslenkungsamplitude  $A_R$  hat.

Für die Auslenkungsamplitude  $A_C$  des Coriolismodes kann die folgende Anregungsgleichung aufgestellt werden:

$$10 \quad A_C = K_C [j\Omega Q K_{CA} A_A - (j\Omega)^2 K_{CR} A_R] \\ = Q K_C K_{CA} V_A - K_C K_{CR} B_R \\ = V_C / (j\Omega) \quad (3)$$

15 Daraus ergibt sich der (komplexe) Massedurchfluß  $Q$  wie folgt:

$$20 \quad Q = [V_C / (j\Omega) + K_R B_R] / (K_A V_A) \quad (4) \\ = (A_C + K_R B_R) / (K_A V_A) \\ = A_C / (K_A V_A)$$

In den Gleichungen (3), (4) und in den folgenden Gleichungen ist

25  $K_A$ : der (reelle) Übertragungsfaktor der angeregten Schwingung des Meßrohrs 4, der durch die erwähnte Kalibrierung zu ermitteln ist und somit gleich dem obigen Kalibrierfaktor  $K_2$  ist,  
 $K_C$ : der (reelle) Übertragungsfaktor des Coriolismodes des Meßrohrs 4,  
 $K_R$ : der (reelle) Übertragungsfaktor der durch Störungen angeregten Drehschwingungen des Trägerrohrs 15, der durch die erwähnte Kalibrierung zu ermitteln ist und somit gleich dem obigen Kalibrierfaktor  $K_1$  ist,  
30  $K_{CA}$ : der (reelle) Kopplungsfaktor zwischen Antriebsmode und Coriolismode des Meßrohrs 4,  
 $K_{CR}$ : der (reelle) Kopplungsfaktor zwischen dem dem Rotationsmode des Trägerrohrs 15 und dem Coriolismode des Meßrohrs 4,  
 $V_A$ : die (komplexe) Amplitude der Geschwindigkeit des Meßrohrs 4 im Antriebsmode,  
 $V_C$ : die (komplexe) Amplitude der Geschwindigkeit des Meßrohrs 4 im Coriolismode,  
35  $B_R$ : die (komplexe) Amplitude der Drehbeschleunigung des Trägerrohrs 15 im Rotationsmode und  
 $A_C'$ : die korrigierte (komplexe) Auslenkungsamplitude des Meßrohrs 4 im Coriolismode.

Die komplexen Größen  $V_A$ ,  $V_C$ ,  $B_R$  können aus den (komplexen) Amplituden  $X_{17}$ ,  $X_{18}$  der Signale  $x_{17}$ ,  $x_{18}$  der Geschwindigkeitssensoren 17, 18 und aus den (komplexen) Amplituden  $X_{19}$ ,  $X_{20}$  der Signale  $x_{19}$ ,  $x_{20}$  der Beschleunigungssensoren 19, 20 mittels der folgenden Gleichungen abgeleitet werden:

$$V_A = X_{18} + X_{17} \quad (5)$$

$$V_C = X_{18} - X_{17} \quad (6)$$

$$45 \quad B_R = X_{20} - X_{19} \quad (7)$$

Der Realteil  $\text{Re} \{Q\}$  des (komplexen) Massedurchflusses  $Q$  ergibt den (reellen) Massedurchfluß  $q$ :

$$50 \quad q = \text{Re} \{Q\} = |A_C| V_A / (K_A |V_A|) \quad (8)$$

Ein verallgemeinerter systematischer Zusammenhang ergibt sich aus der folgenden Gleichung für die Anregung der Schwingungen eines nicht ideal symmetrischen Massedurchflußaufnehmers:

$$55 \quad A_C = K_C [Q L_{cs} V_A - M_{rs} B_R - M_{rd} B_A - D_{rd} V_A - S_{rd} A_A - M_{rd} B_T + Q L_{cd} V_C] \quad (9)$$

Nach  $Q$  aufgelöst:

$$Q = A_C/(K_C L_{cs} V_A) + M_{rs} B_R/(L_{cs} V_A) + M_{rd} B_A/(L_{cs} V_A) + D_{rd}/L_{cs} + S_{rd} A_A/(L_{cs} V_A) + M_{rd} B_T/(L_{cs} V_A) - Q L_{cd} V_C/(L_{cs} V_A) \quad (10)$$

5 In den Gleichungen (9), (10) sind

B<sub>T</sub>: die (komplexe) Amplitude der Beschleunigung des Trägerrohrs 15 im Translationsmode,  
 M: die Masse des Meßrohrs 4,  
 D: die Dämpfung des Schwingungssystems,  
 10 S: die Steifigkeit des Meßrohrs 4 und  
 L: die Dämpfung des Coriolismodes.

Ferner bedeuten die kleingeschriebenen Indices:

15 c als erster Index: den Coriolismode betreffend,  
 r als erster Index: das Meßrohr 4 betreffend,  
 s als zweiter Index: den symmetrischen Anteil und  
 d als zweiter Index: den unsymmetrischen Anteil.

20 Durch den Synchrongdemodulator werden Signalanteile unterdrückt, die nicht in Phase mit V<sub>A</sub> sind, nämlich in Gleichung (10) den dritten, fünften und siebten Term. Daher ergibt sich für q:

$$q = \text{Re}\{Q\} = A_C/(K_C L_{cs} V_A) + M_{rs} B_R/(L_{cs} V_A) + D_{rd}/L_{cs} + M_{rd} B_T/(L_{cs} V_A) \quad (11)$$

25 Darin ist

der erste Term: der gewünschte Meßeffekt,  
 der zweite Term: ein Störanteil aufgrund symmetrischer Masseanteile des Meßrohrs 4 und des Rotationsmodes,  
 der dritte Term: ein Störanteil aufgrund des asymmetrischen Dämpfungsanteils des Meßrohrs 4 und  
 30 der vierte Term: ein Störanteil aufgrund des asymmetrischen Masseanteils des Meßrohrs 4 und des Translationsmodes.

Aufgrund der anhand der Gleichungen (1) bis (11) erläuterten Zusammenhänge ist es klar, daß es im Rahmen der Erfindung liegt, die Geschwindigkeitssensoren 17, 18 durch Wegsensoren oder durch Beschleunigungssensoren zu 35 ersetzen, wobei aus deren jeweiligen Signalen mittels Teilschaltungen, die bei Wegsensoren zeitlich einmal differenzieren bzw. die bei Beschleunigungssensoren zeitlich einmal integrieren, Geschwindigkeitssignale zu erzeugen sind.

Ferner liegt es im Rahmen der Erfindung, die Beschleunigungssensoren 19, 20 durch Wegsensoren oder durch Geschwindigkeitssensoren zu ersetzen, wobei aus deren jeweiligen Signalen mittels Teilschaltungen, die bei Wegsensoren zeitlich zweimal differenzieren bzw. die bei Geschwindigkeitssensoren zeitlich einmal differenzieren, Beschleunigungssignale zu erzeugen sind.

40 Schließlich liegt es auch im Rahmen der Erfindung, die Funktionen der einzelnen Teilschaltungen der Fig. 2 und 3 mittels eines geeignet programmierten Mikroprozessors zu realisieren.

#### Patentansprüche

45

##### 1. Massedurchflußmesser nach dem Coriolis-Prinzip,

- der in den Verlauf einer von einem zu messenden Fluid durchströmten Rohrleitung eines gegebenen Durchmessers axial mit ihr fluchtend, z.B. über Flansche, einsetzbar ist,
- 50 - mit mindestens einem vom Fluid durchflossenen, zwischen den Flanschen (2, 3) verlaufenden und daran fixierten Meßrohr (4),
- mit einem Trägerrohr (15), dessen jeweiliges Ende am jeweiligen Flansch (2, 3) fixiert ist,
- mit Mitteln, die das Meßrohr (4) bzw. die Meßrohre zu Resonanz-Schwingungen anregen,
- mit einem ersten und mit einem zweiten Geschwindigkeitssensor (17, 18) für die Schwingungen des Meßrohrs (4) bzw. der Meßrohre, welche Geschwindigkeitssensoren entlang des Meßrohrs bzw. der Meßrohre versetzt angeordnet sind,
- 55 - mit einem ersten und mit einem zweiten Beschleunigungssensor (19, 20), die am Trägerrohr (15) versetzt entlang einer Schnittlinie mit derjenigen Ebene fixiert sind, in der während des Betriebs des Massedurchflußmessers Corioliskräfte auftreten, und

EP 0 754 934 A1

- mit Mitteln, die aus Signalen ( $x_{17}, x_{18}$ ) der Geschwindigkeitssensoren (17, 18) und aus Signalen ( $x_{19}, x_{20}$ ) der Beschleunigungssensoren (19, 20) ein von Störungen weitestgehend befreites Massedurchfluß-Signal ( $q$ ) bilden.

5    2. Massedurchflußmesser nach Anspruch 1 mit einem einzigen geraden Meßrohr.

3. Massedurchflußmesser nach Anspruch 1 mit einem einzigen in einer Ebene verlaufenden gebogenen Meßrohr.

4. Massedurchflußmesser nach Anspruch 1, bei dem die Mittel, die aus den Signalen ( $x_{17}, x_{18}$ ) der Geschwindigkeitssensoren (17, 18) und aus den Signalen ( $x_{19}, x_{20}$ ) der Beschleunigungssensoren (19, 20) ein Signal für den Massedurchfluß bilden, folgende Teilschaltungen umfassen:

- einen ersten Subtrahierer (31) mit einem Subtrahend-Eingang (-), an den der erste Beschleunigungssensor (19), und mit einem Minuend-Eingang (+), an den der zweite Beschleunigungssensor (20) angeschlossen ist,
- einen zweiten Subtrahierer (32) mit einem Subtrahend-Eingang (-), an den der erste Geschwindigkeitssensor (17), und mit einem Minuend-Eingang (+), an den der zweite Geschwindigkeitssensor (18) angeschlossen ist,
- einen ersten Summierer (33) mit einem ersten Eingang, an den der erste Geschwindigkeitssensor (17), und mit einem zweiten Eingang, an den der zweite Geschwindigkeitssensor (18) angeschlossen ist,
- einen ersten Multiplizierer (35) mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Subtrahierers (31), und mit einem zweiten Eingang, an dem ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung einwirkenden Schwingungen ermittelter erster Kalibrierfaktor ( $K_1$ ) liegt,
- einen zweiten Multiplizierer (36) mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Summierers (33), und mit einem zweiten Eingang, an dem ein durch Kalibrieren bei über die Rohrleitung nicht einwirkenden Schwingungen ermittelter zweiter Kalibrierfaktor ( $K_2$ ) liegt,
- einen Integrator (37), dessen Eingang am Ausgang des zweiten Subtrahierers (32) liegt,
- einen zweiten Summierer (34) mit einem ersten Eingang, an dem der Ausgang des ersten Multiplizierers (35), und mit einem zweiten Eingang, an dem der Ausgang des Integrators (37) liegt,
- einen ersten Inverter (38), der am Ausgang des zweiten Summierers (34) angeschlossen ist,
- einen ersten Umschalter (39) mit einem ersten Eingang, der am Ausgang des zweiten Summierers (34), und mit einem zweiten Eingang, der am Ausgang des ersten Inverters (38) liegt,
- einen zweiten Inverter (40), der am Ausgang des zweiten Multiplizierers (36) angeschlossen ist,
- einen zweiten Umschalter (41) mit einem ersten Eingang, der am Ausgang des zweiten Multiplizierers (36), und mit einem zweiten Eingang, der am Ausgang des zweiten Inverters (40) liegt,
- einen Schwellwertschalter (42) mit einem Signal-Eingang, der am Ausgang des zweiten Multiplizierers (36), mit einem Schwellwert-Eingang, der am Schaltungsnulnpunkt, und mit einem Ausgang, der an einem jeweiligen Steuereingang des ersten bzw. des zweiten Umschalters (41) liegt,
- einen dem Ausgang des ersten Umschalters (39) nachgeschalteten ersten Tiefpaß (43),
- einen dem Ausgang des zweiten Umschalters (41) nachgeschalteten zweiten Tiefpaß (44),

40    -- welche Tiefpässe eine obere Grenzfrequenz haben, die um etwa eine Größenordnung kleiner als die höchste in deren Eingangssignalen auftretende Frequenz ist, und

- einen Dividierer (45) mit einem Dividend-Eingang, an dem der Ausgang des ersten Tiefpasses (43), und mit einem Divisor-Eingang, an dem der Ausgang des zweiten Tiefpasses (44) liegt, sowie mit einem Ausgang, der das Massedurchfluß-Signal ( $q$ ) abgibt.

45    5. Massedurchflußmesser nach Anspruch 4, bei dem der erste Subtrahierer (31) und die Beschleunigungssensoren (19, 20) durch einen einzigen, Rotationsschwingungen aufnehmenden Beschleunigungssensor (19') ersetzt sind.

50

55

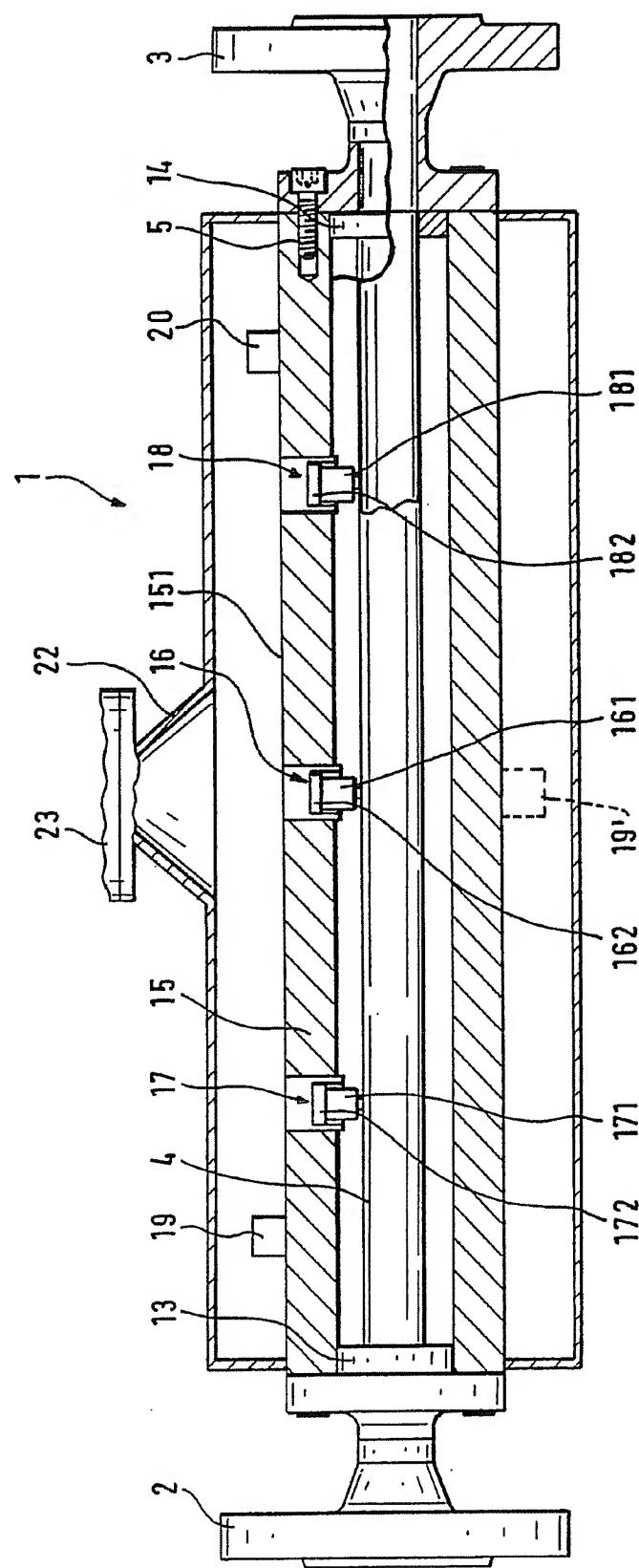


Fig. 1

Fig. 2

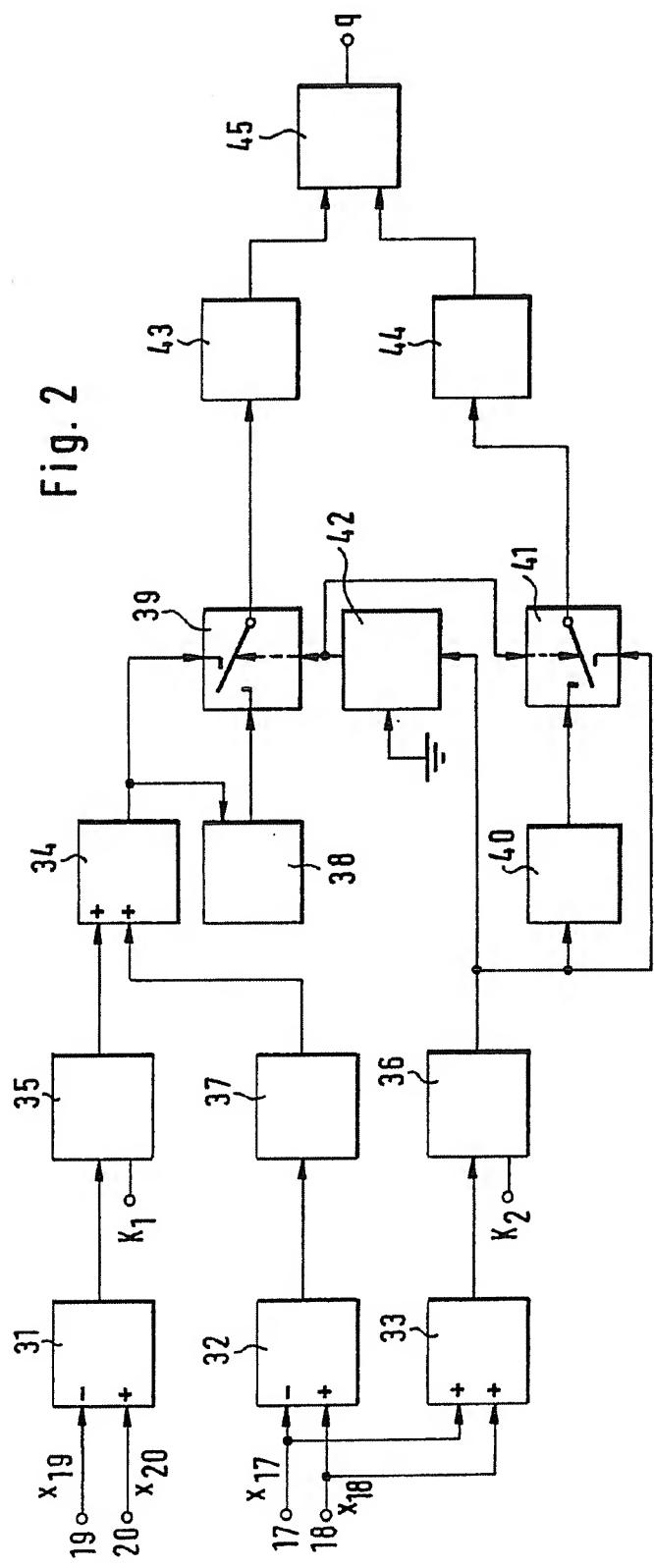
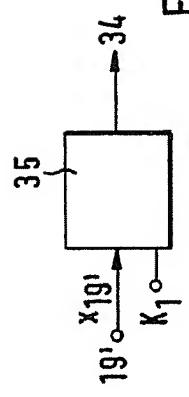


Fig. 3





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 95 81 0474

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE					
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)		
A	WO-A-88 03261 (FOXBORO CO) * Seite 11, Zeile 30 - Seite 12, Zeile 22; Abbildung 1 *	1,3,4	G01F1/84		
A	WO-A-89 01134 (LEW HYOK S) * Seite 9, Zeile 4 - Seite 10, Zeile 26; Abbildung 1 *	1,3			
A	WO-A-93 03336 (MICRO MOTION INC) * Zusammenfassung; Abbildungen 5,6 *	1,2,4			
A	EP-A-0 375 300 (SCHLUMBERGER IND LTD) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1,2,4			
A	EP-A-0 300 301 (EXAC CORP) * Zusammenfassung; Abbildung 3 *	1,4			
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)					
G01F					
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt					
Recherchenort	Abwickeldatum der Recherche	Prüfer			
BERLIN	24.November 1995	Vorropoulos, G			
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE					
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze				
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelddatum veröffentlicht worden ist				
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument				
O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument				
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument				